

ДИНАМИЧЕСКАЯ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ВТ5-1 ПРИ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ОДНООСНЫМ СЖАТИЕМ

Бердин Н. В.

Руководитель: профессор, д.т.н. Смыслов А. М.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г.Уфа

Berdin@bk.ru

Известно, что температурно-скоростные условия горячей пластической деформации оказывают влияние на развитие процессов динамической рекристаллизации и формирование микрокристаллической структуры в промышленных титановых сплавах [1,2]. Важная роль при этом отводится параметрам деформированного состояния: значению скорости, интенсивности и величине накопленной деформации. Вместе с тем роль параметров напряженного состояния в процессах формирования структуры в сплавах на основе титана изучена недостаточно[3].

Поэтому, в настоящей работе на примере однофазного α - титанового сплава ВТ5-1 исследовано влияние показателя напряженного состояния K_1 и показателя формы девиатора напряжений K_2 на механическое поведение и формирование микрокристаллической структуры в ходе горячей пластической деформации цилиндрических образцов одноосным сжатием. Показатель напряженного состояния изменяли путем изменения исходной геометрии образцов. Были выбраны образцы с одинаковым диаметром 12,0 мм, но различной высотой: $h_1=4,0$ мм, $h_2=8,0$ мм, $h_3=15,0$ мм. Учитывая неоднородный характер формирования напряженного состояния в объеме образцов при сжатии, значения K_1 и K_2 , а также металлографические и рентгеноструктурные исследования выполняли в 4-х характерных точках: в застойной зоне-1, вблизи боковой поверхности под бойком-2, вблизи поверхности бочки -3 и в центре образца-4. Результаты математического моделирования (таблица1) показывают, что в образцах с различной исходной высотой показатели напряженного состояния в точках наблюдения 1...4 различны. При этом в точке 4 в образце с высотой $h_3=15,0$ мм показатель напряженного состояния K_1 составляет величину -0,95, а для образцов с начальной высотой $h_1=4,0$ мм параметр $K_1 = -5,6$. Показатель вида нагружения K_2 в точке 4 оставался неизменным и равным $K_2=1$.

Таблица 1. – Параметры напряженного и деформированного состояния.

| H ₀ , мм | K ₁ в точках | | | | K ₂ в точках | | | | e _i в точках | | | |
|------------------------|-------------------------|-------|------|-------|-------------------------|-------|-------|-----|-------------------------|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 15 | -4,96 | -3,21 | 0,05 | -0,95 | 0,99 | -0,16 | -0,11 | 1,0 | 0,03 | 1,2 | 0,6 | 1,1 |
| 8,0 | -5,23 | -2,07 | 0,54 | -2,09 | 0,99 | 0,47 | -0,88 | 1,0 | 0,08 | 1,2 | 0,4 | 1,1 |
| 4,0 | -12,3 | -1,58 | 0,4 | -5,6 | 0,99 | 0,6 | -0,7 | 1,0 | 0,16 | 1,3 | 0,4 | 1,1 |

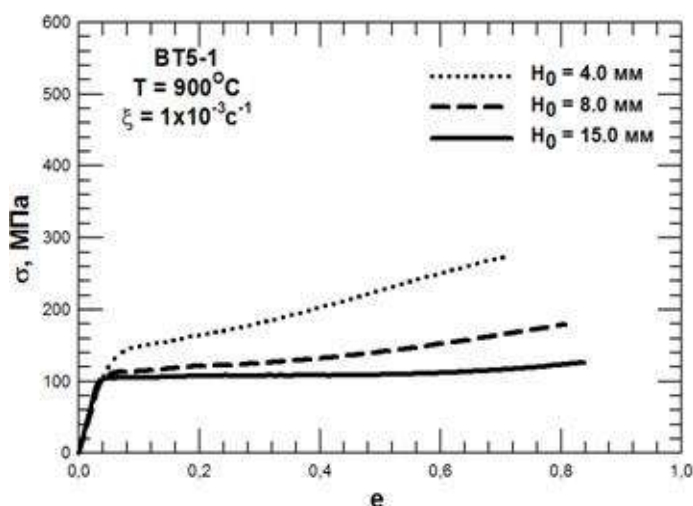
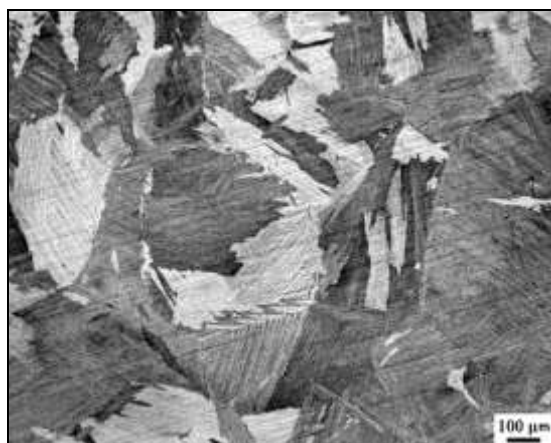


Рис.1 Зависимость напряжений течения от степени деформации.

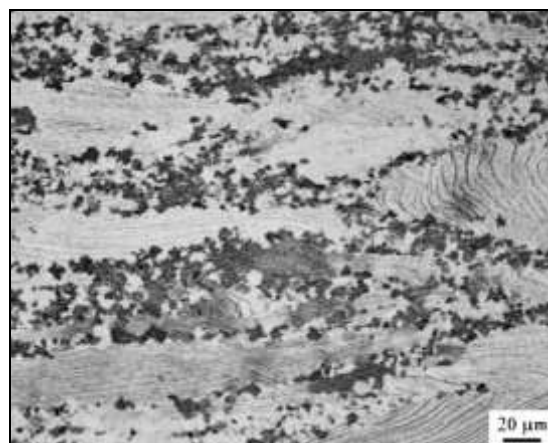
наклон кривой зависимости $\sigma=f(e_i)$ при уменьшении исходной высоты.

Расчеты показывают, что при одинаковой величине высотной деформации $\Delta H/H_0$, величина накопленной деформации e_i в точке 4 была равна 1,1 вне зависимости от значения исходной высоты.

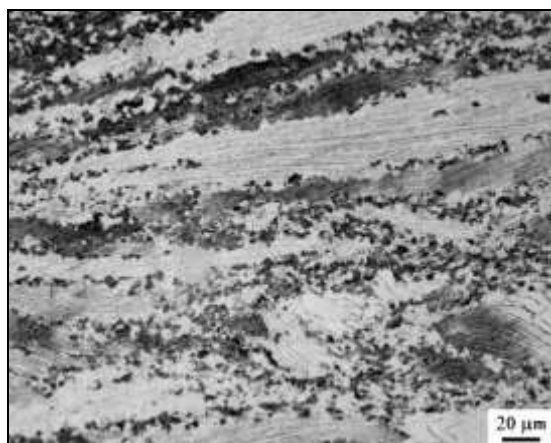
Зависимости напряжений течения образцов при деформации (Рис.1) по одинаковым режимам нагружения показали, что с уменьшением исходной высоты напряжения течения увеличиваются. Увеличивается и



а.



б.



в.



г.

Рис.2 Микроструктура сплава BT5-1 в исходном состоянии и после горячей деформации. $T=900\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость деформации 10^{-3} с^{-1} , степень высотной деформации 60%. а – исходное состояние. б - центр образца $h_1=15,0\text{ мм}$. в – центр образца $h_2=8,0\text{ мм}$, г- центр образца $h_3=4,0\text{ мм}$

При выполнении металлографических исследований (Рис.2) установлено, что эволюция структуры в образцах после деформации происходит

неравномерно в объеме. Степень неравномерности преобразования структуры зависит от исходной высоты образцов. Чем меньше исходная высота образцов, тем в большем его объеме наблюдаются рекристаллизованные зерна. Однако, если в образцах с $H_0=15,0$ мм рекристаллизованные зерна охватывают большую часть исходных зерен (Рис.2б), то в образцах с $H_0=4,0$ мм они сосредоточены вблизи границ этих зерен. Количественный анализ микроструктуры в центральной части образцов показал, что размер рекристаллизованных зерен, также как и объем рекристаллизованной структуры зависит от исходной высоты образцов. С уменьшением исходной высоты размер рекристаллизованных α -зерен уменьшается с 9-10 мкм до 3-4 мкм (Таблица 2).

Таблица 2. – Результаты EBSD – анализа.

| H ₀ , мм | d4 мкм | Границы с углом 3-7 град | | | | Границы с углом 25-30 град | | | |
|------------------------|-----------|--------------------------|------|------|------|----------------------------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 15 | 9,5 | 0,01 | 0,24 | 0,14 | 0,12 | 1,34 | 0,38 | 0,68 | 0,46 |
| 8,0 | 5,1 | 0,08 | 0,21 | 0,12 | 0,13 | 1,35 | 0,44 | 0,69 | 0,50 |
| 4,0 | 3,7 | 0,20 | 0,12 | 0,19 | 0,17 | 1,24 | 0,54 | 0,70 | 0,65 |

Результаты EBSD-анализа микроструктуры в четырех характерных точках показал, что исходная высота деформированных образцов также влияет и на структуру границ рекристаллизованных зерен, что выражается в различной доле мало- и высокоугловых границ не только в характерных точках 1...4 образца, а также в зависимости от его исходной высоты.

Таким образом, на основе результатов математического моделирования, механических испытаний, металлографического и EBSD- анализа можно сделать вывод о влиянии геометрии образца на параметры напряженного состояния K_1 и K_2 , на механическое поведение и развитие процессов рекристаллизации, которая определяет эволюцию крупнокристаллической структуры в микрокристаллическую в титановом сплаве BT5-1.

Список литературы:

1. Кайбышев О.А., Лутфуллин Р.Я., Салищев Г.А.. Влияние условий сверхпластической деформации на трансформацию пластинчатой микроструктуры в титановом сплаве BT9 // ФММ. –1988. т.66. -вып.6, -С.1163-1171.
2. Салищев Г.А., Лутфуллин Р.Я., Мазурский М.И. Преобразование пластинчатой микроструктуры в равноосную при горячей деформации титанового сплава BT5-1. Металлы, №3. 1990 г., с.30...45.
3. Бердин В.К., Караваева М.В., Ахунова А.Х.Нуриева С.К. Влияние напряженного состояния на структурные изменения в титановом сплаве BT9 при горячей деформации. Материаловедение №2, 2008 с.28-34.